

## Brennstoffzelle: Der Weg zur sauberen Energie

*bgh.* Das Prinzip der Brennstoffzelle ist denkbar einfach. Bei der Spaltung von Wasser durch die Zuführung von Energie entstehen Sauerstoff und Wasserstoff. Aus dem Chemie-Unterricht ist die umgekehrte Variante für viele noch in bester Erinnerung: Beim sogenannten Knallgas-Versuch erfolgt die Verschmelzung von Wasserstoff und Sauerstoff explosionsartig. In einer Brennstoffzelle läuft genau dieser Vorgang ab, wobei die Energie aber nicht explodiert, sondern chemisch in elektrischen Strom umgewandelt wird. Um bei dieser «kalten Verbrennung» kontrollierbare Reaktionen der Gase zu erhalten, müssen sie strikte durch eine Membran voneinander getrennt werden. Die Idee der Brennstoffzelle ist alles andere als neu: Der walisische Richter und Naturwissenschaftler Wiliam Grove erzeugte auf diese Weise bereits 1839 Strom. In den 50er- und 60er-Jahren dieses Jahrhunderts tauchte die Brennstoffzelle verschiedentlich in amerikanischen Versuchsfahrzeugen auf, doch scheiterten die Projekte regelmässig an finanziellen, aber auch technischen Hürden. Nur in der Raumfahrt sowie in der Rüstungsindustrie – dort also, wo das Geld eine untergeordnete Rolle spielt – kamen Brennstoffzellen bis jetzt erfolgreich zum Einsatz.

Reinhold Wurster, Projektmanager für den Bereich Wasserstoff der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, prophezeit der Brennstoffzelle eine strahlende Zukunft. «Die mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle ist die effizienteste, sauberste und universellste Technologie-Kombination von Treibstoff und Energiewandler, die bisher entwickelt wurde.» Das allein, dessen ist sich Wurster durchaus bewusst, reicht nicht aus, um der Brennstoffzelle den Weg zum Erfolg zu ebnet. Dazu werden im Wesentlichen zwei Faktoren beitragen: die Endlichkeit der Reserven an Erdöl und Erdgas und das Klima der Erde. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts hat sich der CO<sub>2</sub>-Anteil in der Atmosphäre von 295 auf heute fast 370 ppm (parts per million) erhöht. Hochrechnungen zeigen, dass sich bei einer Fortsetzung des Trends der CO<sub>2</sub>-Anteil der Atmosphäre bis 2050 gegenüber 1990 verdoppelt haben wird. Es darf daraus nicht gefolgert werden, dass fossile Energieträger allein für diesen Anstieg verantwortlich sind. Trotzdem ist es erforderlich, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren – auch die der Fahrzeuge. Die Ressourcen- und Umweltsituation zwingt die Autohersteller also dazu, sich in relativ

naher Zukunft intensiv um Alternativen zu den konventionellen Verbrennungsmotoren zu bemühen. Und wie es im Moment aussieht, ist die Brennstoffzelle tatsächlich die Beste aller realisierbaren Lösungen.

Die Brennstoffzelle erreicht einen sehr hohen Wirkungsgrad. Ausserdem entstehen bei ihrem Betrieb keine schädlichen Emissionen. Zudem ist Wasserstoff ein Energieträger, der aus einer Vielzahl unterschiedlicher Primärenergieträger erzeugt werden kann. Die Optionen reichen von der Herstellung aus fossilen Brennstoffen wie Erdgas und Erdöl bis zur Gewinnung aus regenerativen Energiequellen. Das mögliche Spektrum umfasst zum Beispiel die Wasserstoffgewinnung aus Biomasse – über Vergasung oder Vergärung –, ist aber auch über den Umweg der Stromproduktion aus Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik oder solarthermischen Kraftwerken denkbar.

### Serienanlauf im Jahr 2004

Mithin erscheint die Brennstoffzelle also als Ei des Kolumbus. Kein Wunder, investiert die Autoindustrie jährlich Milliarden in Forschung und Entwicklung. DaimlerChrysler, Opel oder Toyota liefern sich im Moment ein Kopf-an-Kopf-Rennen um das erste grossserientaugliche Brennstoffzellen-Auto: Im Jahr 2004, versprechen die Hersteller, soll es so weit sein. In den nächsten vier Jahren hat die Industrie allerdings noch einen weiten Weg vor sich. Denn einige der wichtigsten Fragen sind nach wie vor ungeklärt: Wo sollen die Brennstoffzellen-Autos ab 2004 tanken? Und was genau sollen sie tanken? Denn damit ein Fahrzeug mit Brennstoffzellen-Antrieb auf dem Markt überhaupt eine Chance hat, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Dazu gehören vor allem einmal die flächendeckende Verfügbarkeit des Wasserstoffs – und ein konkurrenzfähiger Preis. Beides lässt sich in unmittelbarer Zukunft nicht realisieren. Alle Autohersteller arbeiten daher im Moment an einer Taktik der kleinen Schritte. Als Zwischenlösung bietet sich die Fahrzeug-on-Board-Reformierung an, um den für einen Brennstoffzellen-Antrieb benötigten Energieträger Wasserstoff zu gewinnen.

Ist sich die Industrie um die Notwendigkeit der Politik der kleinen Schritte noch einig, gehen die Meinungen um das Ausgangsmaterial für den Reformationsprozess auseinander. Zur Debatte als alternativer Treibstoff stehen heute entweder

Methanol oder Benzin, allenfalls Dieseltreibstoff. Alle Rohstoffe liessen sich über die bereits existierende Tankstelleninfrastruktur verteilen.

DaimlerChrysler möchte als alternativen Treibstoff das von der Industrie überwiegend aus Erdgas hergestellte Methanol einsetzen. Der Treibstoff hat damit gegenüber Benzin oder Diesel den Vorteil, nicht an Erdöl gebunden zu sein. Erdgas ist nach wie vor in grossen Mengen und in vielen verschiedenen Gebieten der Welt vorhanden. Die Abhängigkeit von politisch instabilen Regionen wäre bei der Nutzung von Methanol als Treibstoff also geringer als bei Benzin. Darüber hinaus liesse sich Methanol langfristig aus Biomasse oder Holzrückständen gewinnen und stellt damit einen regenerativen Energieträger dar. In diesem Fall wäre die Emissionsbilanz für Methanol sogar neutral, da die beim Betrieb freigesetzte Menge an Kohlendioxid durch die Pflanze zuvor beim Wachstum absorbiert wurde. Allerdings hat Methanol auch einige Nachteile: Zapfsäulen und Tankanlagen müssten wegen der Aggressivität des Treibstoffes gegenüber zahlreichen Beschichtungen und Dichtungssystemen umgerüstet werden. Bedenklich ist auch die toxische Wirkung von Methanol.

Diese Nachteile würden bei einem Einsatz von Benzin – wie er im Moment von Opel favorisiert wird – wegfallen. Dafür wäre das Ausgangsmaterial für die Reformierung nach wie vor ein fossiler Rohstoff. Und gegenüber Methanol produziert der Reformationsprozess mit der Ausgangsbasis Benzin mehr Emissionen – wenn sie auch im Vergleich mit den Emissionen konventioneller Antriebskonfigurationen mit Otto- und Dieselmotoren nur gering sind. Ausserdem kann für den Brennstoffzellen-Antrieb nur ein spezielles, reineres Benzin verwendet werden, das einen deutlich geringeren als heute üblichen Schwefelgehalt aufweisen muss. Das gilt in noch ausgeprägterer Form für Diesel-Treibstoff, der sich ebenfalls für den Reformierungsprozess eignet, aber noch höhere Schwefelanteile aufweist als Benzin.

### Kaltes Feuer

Unabhängig vom verwendeten Medium spielt sich der Reformierungsprozess selbst immer gleich ab. Zum «Herauslösen» des Wasserstoffs aus dem Energieträger wird dieser in ein wasserstoffhaltiges Synthesegas umgewandelt. Während das wasserstoffhaltige Gas aus dem Reformier auf die Anodenseite der Brennstoffzelle strömt, wird der Kathodenseite Luft als sauerstoffreiches Gas zugeführt. Durch die in der Brennstoffzelle ablaufende elektrochemischen Reaktionen entsteht

elektrische Spannung, die unter anderem zur Stromversorgung eines E-Motors für den Fahrzeugbetrieb nutzbar ist. Doch selbst wenn die Frage des Rohstoffes für die On-Board-Reformierung gelöst ist, sind die letzten Steine zum Brennstoffzellen-Antrieb noch nicht aus dem Weg geräumt. Das erste Brennstoffzellen-Fahrzeug, mit dem Opel an die Öffentlichkeit trat, war ein Opel Zafira, der mit Ausnahme von Fahrer- und Beifahrersitz mit technischen Gerätschaften vollgestopft war. Dieser Brennstoffzellen-Zafira der ersten Generation von 1998 hatte einen Methanol-Reformer an Bord. Das Gerät erzeugte den Wasserstoff, der zum Betrieb der Brennstoffzelle nötig ist, aus Methanol direkt an Bord. Darauf verzichtet Opel beim kürzlich vorgestellten HydroGen1 und stellt damit ein Modell vor, das eigentlich erst in der übernächsten Generation von Fahrzeugen realisierbar sein wird. Denn der HydroGen1 verfügt über einen Flüssigwasserstoff-Tank und setzt damit eine bereits funktionierende Wasserstoff-Infrastruktur voraus.

Mit einem derartigen Fahrzeug ist DaimlerChrysler bereits im März 1999 an die Öffentlichkeit getreten. Damals wurde in den USA der Nocar 4 vorgestellt, eine A-Klasse, die in ihrem Zwischenboden ein Brennstoffzellen-Modul trug. Das 75 PS / 55 kW starke Fahrzeug verfügte über einen sechs Liter fassenden Wasserstoff-Tank an Bord und erreichte damit eine Reichweite von 450 km. Wie der Nocar 4 von DaimlerChrysler rollt nun auch der Opel HydroGen1 als vollwertiger Fünfplätzer daher. Durch die Unterfluranordnung von Batterien und Tank sind die Fondssitze 30 Millimeter, der Laderaumboden 100 Millimeter höher angeordnet als im Serienmodell. Der Brennstoffzellen-Block besteht aus 200 in Reihe geschalteten Einzelzellen. In der aktuellen Auslegung erzeugt der Stack mit einer Leistung von 109 PS / 80 kW eine elektrische Spannung, die je nach Betriebszustand 125 bis 200 Volt im Leerlauf erreicht. Ein Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler setzt diese Spannung auf 250 bis 380 Volt hoch. Für den Drehstrom-Synchron-Motor, der für den Antrieb verantwortlich ist, wird diese Gleichspannung von einem Umrichter in Wechselspannung gewandelt. Der Motor selbst leistet 75 PS / 55 kW. Er sitzt inklusive Zwischenübersetzung hinter dem Stack und treibt von dort aus die Vorderräder an. Opel verzichtet beim HydroGen1 auf ein konventionelles Mehrstufen-Getriebe. Das ist möglich, weil der Elektromotor aus dem Stand ein Dauerdrehmoment von 251 Nm erreicht. Kurzzeitig sind sogar 60

kW / 82 PS und bis zu 305 Nm möglich. In Bezug auf das Drehmoment entspricht das in etwa einem modernen Turbo-Dieselmotor der 2,5-Liter-Klasse. Vor der Hinterachse, unter der Fondsitzebank, hat Opel im HydroGen1 einen mit speziellen Aluminiumfolien isolierten Edelstahltank positioniert, in dem flüssiger Wasserstoff bei minus 253 Grad gespeichert wird. Der Behälter fasst bis zu 75 Liter beziehungsweise 5 Kilogramm des Treibstoffes und ermöglicht damit eine Reichweite von 400 Kilometern. Trotz den 125 Kilogramm Mehrgewicht im Vergleich zu einem konventionellen Zafira absolviert der rund 1,6 Tonnen schwere HydroGen1 den Spurt von 0

auf 100 km/h in 16 Sekunden.

Für den Aufbruch ins Brennstoffzellen-Zeitalter stellt der HydroGen1 also einen wichtigen Meilenstein dar. Jetzt hoffen die Techniker von Opel, dass sie mit ihrem Optimismus nicht an den politischen Realitäten scheitern. «Die Industrie ist hoch motiviert», so Reinhold Wurster, «die Einführung von Wasserstoff als Treibstoff und der Aufbau einer flächendeckenden Infrastruktur sollten aber durch Unterstützung seitens der Regierungen erleichtert werden. Und zu meinem Entsetzen bewegt sich auf dieser Ebene nur ganz, ganz wenig.»